

ESTUDIO ASTROMÉTRICO DE MESSIER 13 (I) ESTRELLAS DE CAMPO

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU

Asesores Astronómicos Cacereños, fviolat@yahoo.es

Resumen. Hemos determinado las coordenadas ecuatoriales (J2000) de 74 estrellas del cúmulo Messier 13 midiendo imágenes CCD filtradas, capturadas desde el Observatorio Astronómico de Cáceres, en septiembre de 2013. Se han comparado las posiciones de doce estrellas de campo, no pertenecientes al cúmulo, con las del Catálogo UCAC4: en siete de ellas se han apreciado leves cambios en sus posiciones, compatibles con pequeños movimientos propios, encontrándolos en el rango 1.45 a 41.45 milisegundos de arco/año.

La detección del movimiento propio de las estrellas ocurrió en el año 1718 cuando Halley, al comparar las posiciones aparentes de tres brillantes estrellas (Sirio, Arturo y Aldebarán) listadas por Hiparco de Nicea con las que presentaban en su época, notó una diferencia próxima al medio grado, diferencia que no podía ser achacada a simples errores. La única explicación sensata era que estas estrellas estaban más próximas a la Tierra que las demás y sus movimientos propios podían ser percibidos, hipótesis consistente con su elevado brillo. De hecho durante siglos se denominación oficial fue el de "estrellas fijas" ya que, a diferencia de los planetas, se suponía que éstas siempre permanecían inmóviles en las mismas posiciones con respecto al fondo del firmamento (fondo denominado, apropiadamente, "esfera de las estrellas fijas").

El estudio de los movimientos propios de las estrellas del cúmulo globular Messier 13 (NGC 6205) comenzó a inicios del siglo pasado con los trabajos de Van Maanen (1925 y 1927) y Brown (1955), quienes compararon placas fotográficas obtenidas con una cierta diferencia temporal (hasta 48 años en el caso de Brown); ambos mostraron que las estrellas del cúmulo presentaban desplazamientos en ascensión recta y declinación muy reducidos debido a su enorme distancia a la Tierra: del orden de milésimas de segundo de arco al año. En función de este minúsculo movimiento propio era factible determinar qué estrellas no pertenecían al cúmulo¹ ya que presentarían desplazamientos mayores: de esta manera Brown encontró hasta ocho astros con movimientos propios más elevados que el resto de las estrellas (de 0.005" a 0.035"/año) que identificó correctamente como estrellas de campo. En la Tabla 1 mostramos estas estrellas con sus desplazamientos propios anuales en ascensión recta ($\mu \alpha$) y en declinación ($\mu \delta$) medidos en milisegundos de arco al año (mas/año en lo sucesivo); como en otros trabajos anteriores identificamos las estrellas con su número de orden dentro del Catálogo Ludendorff (1905) precedido de la letra L:

TABLA 1. MOVIMIENTOS PROPIOS ANUALES (1955).

Astro	$\mu \alpha$	$\mu \delta$	Astro	$\mu \alpha$	$\mu \delta$
L15	-20	+16	L833	-9	-20
L37	-20	-22	L991	-6	-5
L97	+5	+5	L1019	+8	-16
L379	+1	-35	L1087	-4	+11

1 Denominadas "estrellas de campo" (*field stars*) ya que podían verse en el mismo campo aparente que el cúmulo.

Kadla realizó dos estudios sobre el movimiento propio del cúmulo y sus estrellas componentes (en 1964 y 1966) basados en placas fotográficas separadas por un período de tiempo mayor (entre 51 y 66 años): en el primero determinó el desplazamiento de 109 estrellas de Messier 13 y obtuvo un diagrama color-magnitud mientras que en el segundo presentó los movimientos propios, magnitudes V e índices de color $B - V$ y $U - V$ de 923 estrellas del cúmulo y alrededores en un campo de $80' \times 80'$; de todas ellas sólo cinco (L15, L97, L833, L1019 y L1087) coincidían con las listadas en el trabajo de Brown. Podemos comparar los resultados obtenidos por ambos investigadores en una tabla, que denominaremos Tabla 2, en la cual los subíndices 1 y 2 hacen referencia a los movimientos propios obtenidos por Brown y Kadla respectivamente:

TABLA 2. MOVIMIENTOS PROPIOS ANUALES (1966).

Astro	$\mu_1 \alpha$	$\mu_1 \delta$	$\mu_2 \alpha$	$\mu_2 \delta$
L15	-20	+16	-13.8	+14.4
L37	-20	-22		
L97	+5	+5	+15.4	+5.3
L379	+1	-35		
L833	-9	-20	-5.0	-22.0
L991	-6	-5		
L1019	+8	-16	+13.6	-19.6
L1087	-4	+11	-1.2	+10.5

El observar los datos vemos que los nuevos movimientos propios son, en general, parecidos a los antiguos excepto en los de la ascensión recta de L97 y L1019, que aparecían mucho mayores; también, al utilizar un período temporal más amplio, presentaban una precisión mayor al tener un decimal. Algunos años más tarde Cudworth y Monet (1979) midieron nuevos movimientos propios de 443 estrellas del cúmulo y alrededores: el movimiento estaba medido en segundos de arco en mil siglos ($0.00001''/\text{año}$) de modo que, a efectos de comparación, los hemos transformado a mas/año. Podemos elaborar una nueva tabla (Tabla 3) comparando los resultados obtenidos por los distintos observadores:

TABLA 3. MOVIMIENTOS PROPIOS ANUALES (1979).

Astro	$\mu_1 \alpha$	$\mu_1 \delta$	$\mu_2 \alpha$	$\mu_2 \delta$	$\mu_3 \alpha$	$\mu_3 \delta$
L15	-20	+16	-13.8	+14.4	-17.99	+15.30
L37	-20	-22			-18.89	-22.72
L97	+5	+5	+15.4	+5.3	+8.11	+4.81
L379	+1	-35			+3.48	-35.17
L833	-9	-20			-6.59	-20.78
L991	-6	-5				
L1019	+8	-16	+13.6	-19.6	+9.66	-17.33
L1087	-4	+11	-1.2	+10.5	+2.21	+9.53

como en la tabla anterior los subíndices 1, 2 y 3 corresponden a los trabajos de Brown, Kadla y Cudworth-Monet respectivamente. Al haber empleado placas separadas por un período de hasta 77

años la precisión obtenida ahora era algo mayor que la de Kadla, lo que se aprecia al comparar los distintos datos tabulados: de hecho los dos valores de ascensión recta que antes encontrábamos incoherentes (estrellas L97 y L1090) siguen siendo anómalos al compararlos con los nuevos.

Aunque no se han publicado más estudios sobre el movimiento propio de las estrellas del cúmulo Osborn (2000) presentó un trabajo sobre las estrellas variables de Messier 13, listando las posiciones y magnitudes *UBVRI* de 104 estrellas situadas en el campo del cúmulo; dichas posiciones estaban referidas al equinoccio J2000.0 de manera que podían ser comparadas con las incluidas en la Base de Datos Estelares SIMBAD, del Centro de Datos Estelares de Estrasburgo. Finalmente Kopacki *et al.* (2003) presentaron las posiciones (J2000) de 45 estrellas entre variables, no variables y sospechosas de variabilidad: según los propios autores encontraron todas las coordenadas desplazadas sistemáticamente $0.58'' \pm 0.02''$ al Este y $0.24'' \pm 0.02''$ al Sur de las proporcionadas por Osborn, debido a que utilizaron distintos astros de referencia (28 estrellas del catálogo USNO-A2.0 Osborn y 200 estrellas del HST Guide Star Catalog 2.2.01 Kopacki *et al.*).

EQUIPO UTILIZADO

Como en campañas fotométricas anteriores² hemos empleado un telescopio catadióptrico de 203 mm de diámetro y 2000 mm de focal trabajando a foco primario; la cámara CCD utilizada ha sido una Starlight Xpress modelo SXVF-M7, con electrónica de 16 bits y píxeles de 8.6 x 8.3 micras, capaz de proporcionar una resolución de 0.91" x 0.88" píxel. Trabajando a foco primario el campo aparente cubierto ha sido igual a 11.4' x 8.5', lo que nos ha permitido capturar en torno a 800-1000 estrellas por imagen (dependiendo del filtro utilizado, el tiempo de integración y la turbulencia de la noche, que pudimos cuantificar por medio de la FWHM³). Hemos empleado el filtro *B* Johnson para capturar las imágenes: con ello hemos conseguido que las estrellas más brillantes (del tipo Gigante Roja) no apareciesen saturadas e hinchadas, ya que se han obtenido imágenes con tiempos de integración de 240 a 300 segundos para que las componentes más débiles (azules y blancas) tuviesen relaciones señal/ruido (S/N) lo más elevadas posible.

Para determinar las posiciones astrométricas hemos utilizado diez imágenes filtradas tomadas en la noche del 10 de septiembre de 2013, entre las 21h 30m y las 22h 33m T.U., eligiendo de ellas las cuatro mejores. Dichas imágenes se han abierto y examinado con dos programas distintos, *Astroart* 3.0 y *Astrometrica* 4.8, con los que se han detectado entre 1000 y 1500 estrellas. Al inicio de la campaña orientamos la cámara de tal manera que en todas las imágenes apareciese el Norte en la parte inferior y el Este a la derecha; hemos logrado una orientación muy precisa por el método de los *rastros estelares* (detener el seguimiento de la montura para obtener estrellas movidas en sentido Este-Oeste); se ha corregido la orientación poco a poco tomando repetidas imágenes hasta obtener una horizontalidad perfecta en todas las imágenes: esto ha garantizado que el campo estelar capturado estuviese correctamente orientado en el sentido Norte-Sur con un error inferior a $1.2 \pm 0.2^\circ$. En la Figura 1 mostramos una de las imágenes CCD filtradas obtenidas: los números 1 al 9 identifican cada una de las nueve estrellas empleadas para la calibración astrométrica con *Astroart*, todos los datos de las cuales se tabulan en la Tabla 4 en las siguientes columnas: número, denominación Ludendorff, magnitud en banda *V*, posición (J2000) según el Catálogo UCAC4 (Zacharias *et al.*, 2013); las magnitudes encerradas entre paréntesis corresponden a la de estrellas variables (según datos de SIMBAD).

2 Las cuales comenzaron en el año 2001 tras identificar todas las estrellas de comparación, variables, no variables y sospechosas de variabilidad a partir del trabajo de Osborn publicado en el año 2000.

3 *Full width at half maximum* o FWHM: es la anchura a media altura que presenta un determinado pico de emisión, en este caso el brillo de las estrellas del cúmulo; cuanto más alto sea mayor anchura presenta una estrella.

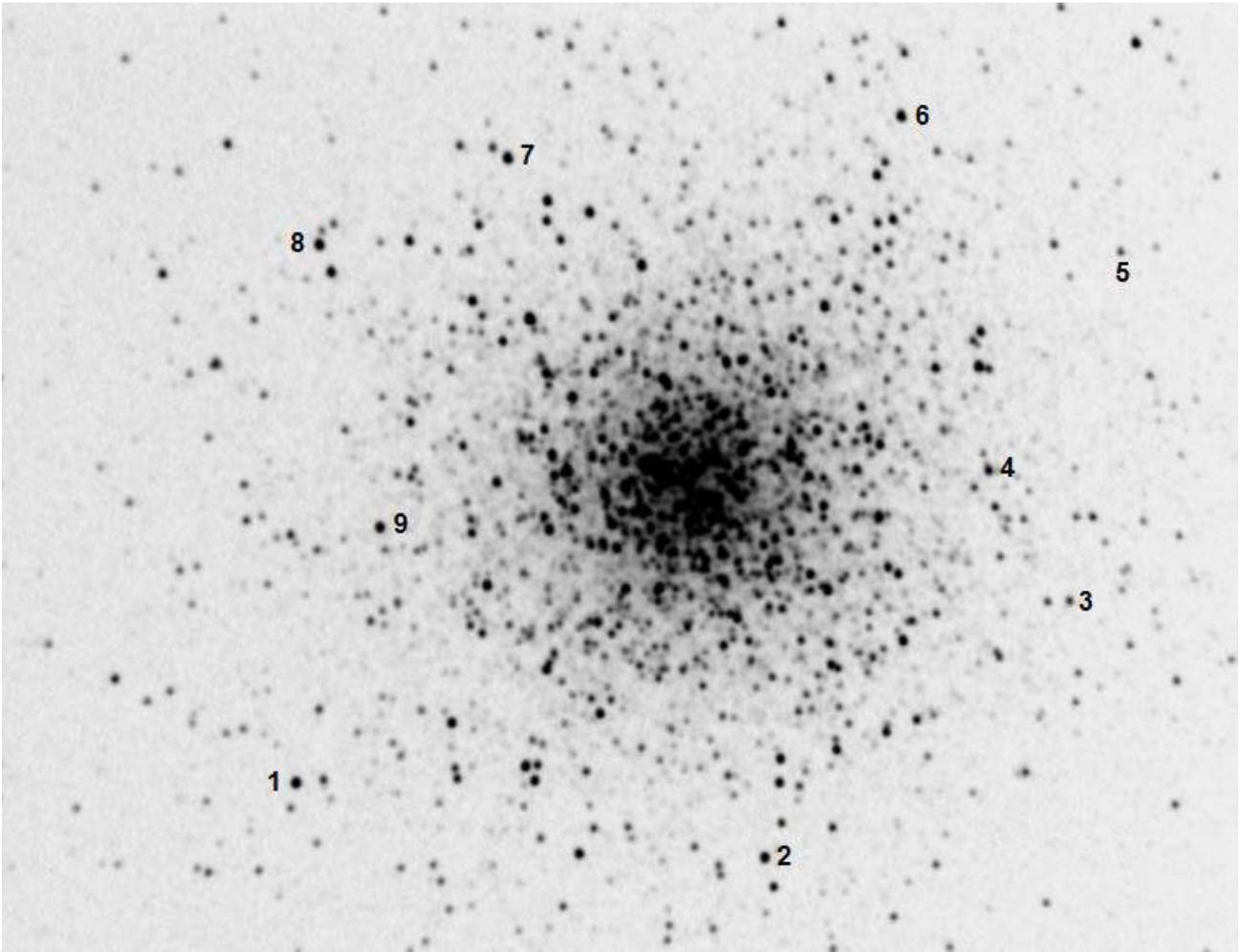


Figura 1. Imagen CCD obtenida por el autor desde el Observatorio Astronómico de Cáceres, a través del filtro *B* Johnson, con el equipo descrito en el texto: sobre ella se han marcado las nueve estrellas utilizadas en la calibración astrométrica. La escala es igual a 0.9"/pixel, magnitud límite: 18.02 *B*, Norte abajo y Este a la derecha.

El examen de la imagen pone de manifiesto que hemos elegido estrellas brillante y moderadamente brillante, situadas en zonas libres del apiñamiento estelar (*crowding*), de tal manera que sus posiciones se pudiesen medir con la mayor exactitud posible.

TABLA 4. ESTRELLAS DE CALIBRACION *ASTROART* (J2000).

Nº	Astro	<i>V</i>	Ascensión Recta	Declinación
1	L70	(12.12)	16h 41m 23.530s	36° 30' 17.24"
2	L745	12.54	16h 41m 44.854s	36° 30' 51.33"
3	L1060	14.05	16h 41m 58.416s	36° 28' 31.09"
4	L1030	13.18	16h 41m 54.615s	36° 27' 22.87"
5	L1072	14.31	16h 42m 00.374s	36° 25' 24.82"
6	L954	(12.09)	16h 41m 50.300s	36° 24' 15.54"
7	L199	11.93	16h 41m 32.533s	36° 24' 42.57"
8	L72	(12.40)	16h 41m 24.080s	36° 25' 30.78"
9	L96	12.52	16h 41m 27.088s	36° 28' 00.35"

En primer lugar hemos procedido a abrir y calibrar astrométricamente la mejor fotografía azul (B3.FIT) por medio del programa *Astroart*, empleando las nueve estrellas listadas en la Tabla 4 cuyas posiciones han sido tomadas de UCAC4; *Astroart* utiliza estas coordenadas para elaborar un polinomio bidimensional que "mapea" la imagen digital de tal manera que el eje X es la Ascensión Recta y el Y la Declinación: si la imagen es almacenada ahora con otro nombre se guarda este polinomio en la cabecera de datos FITS de la misma, de tal manera que cuando sea abierta en el futuro basta con utilizar la función "Astrometría" para que, al instante, el programa determine la posición de todas las estrellas localizadas en la imagen empleando el polinomio previamente calculado y grabado. Una utilidad añadida es que podemos calcular la posición de cualquier estrella no detectada por el programa: para ello basta marcarla con el puntero y, automáticamente, el programa nos facilita la posición exacta de la misma. En la Figura 2 mostramos el resultado obtenido tras la calibración: vemos, en la pequeña ventana superior, que el programa ha detectado la presencia de 1000 estrellas distintas ofreciendo los datos para tres de ellas: la posición en el eje X, en el eje Y, el valor ADU, las coordenadas α y δ en formato decimal, en formato astronómico, el valor de la FWHM en el eje X y en el Y así como la relación señal/ruido. La pantalla inferior es una imagen digital del cúmulo: notemos que todas las estrellas detectadas aparecen dentro de un cuadrado y que la misma aparece invertida, con el Norte abajo y el Este a la derecha, tal como indica la pequeña marca de orientación del campo situada en la esquina superior izquierda.

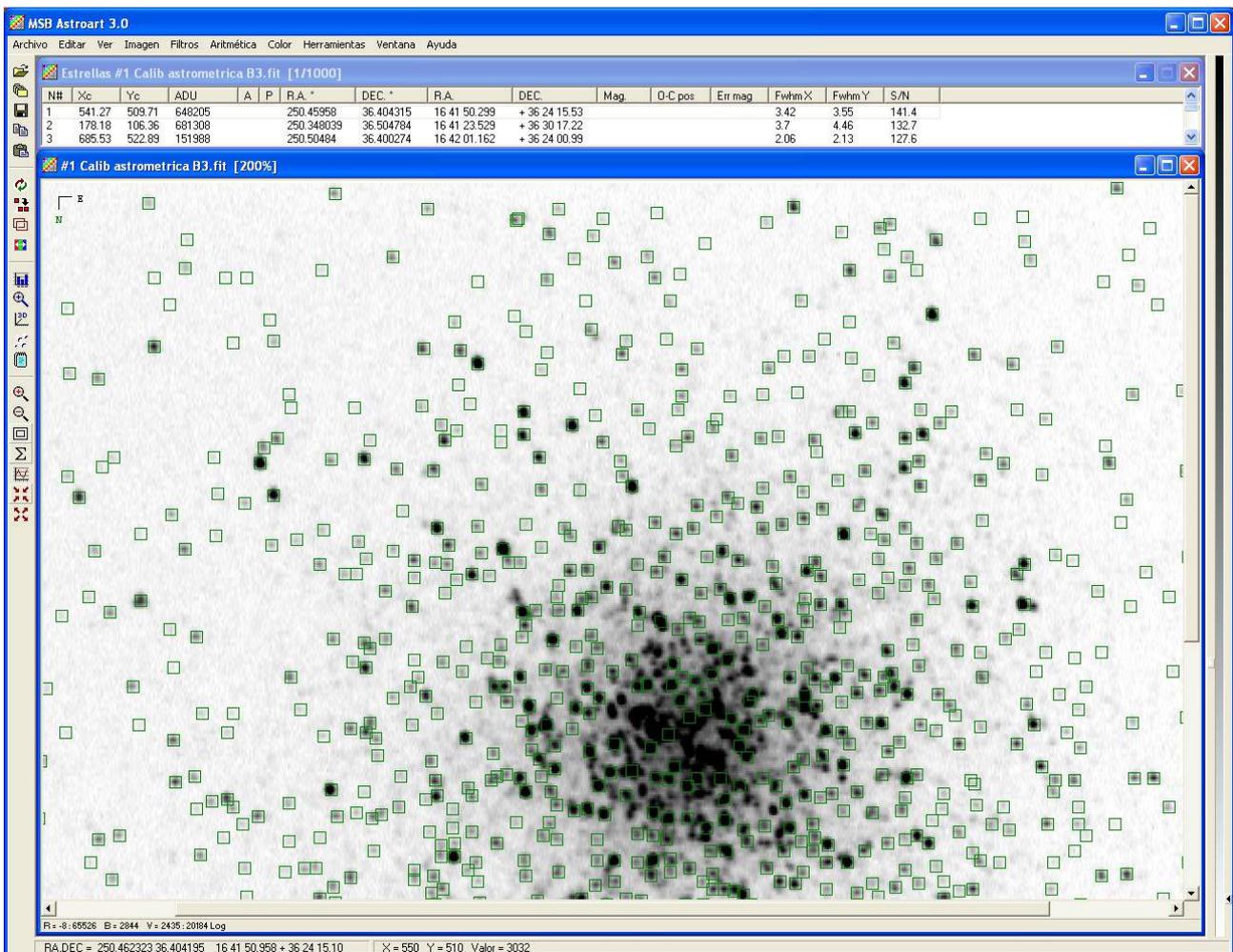


Figura 2. Imagen CCD ya calibrada con *Astroart*: la pequeña pantalla superior muestra los datos obtenidos para tres estrellas (de las 1000 detectadas) mientras que la inferior identifica y señala todas las estrellas para las cuales se han determinado las coordenadas.

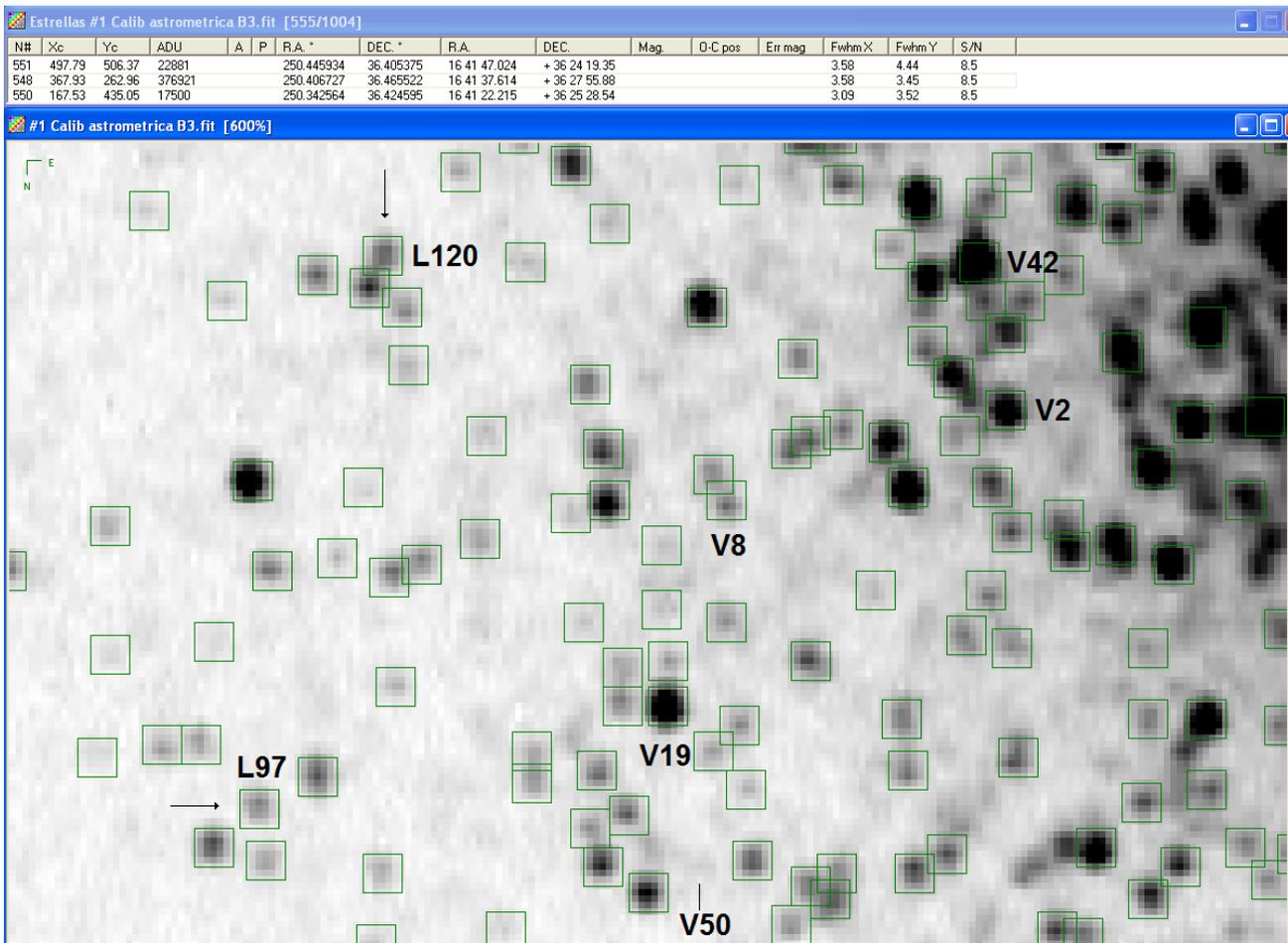


Figura 3. Ampliación de la imagen CCD calibrada con *Astroart* en la que hemos identificado cinco estrellas variables y dos estrellas de campo (L87 y L120), marcadas con flechas: podemos ver que los astros localizadas por el programa aparecen dentro de un cuadradito. Norte abajo y Este a la derecha.

Gracias a la focal empleada y al reducido tamaño de los píxeles del chip *Astroart* puede determinar la posición de dos estrellas separadas por un mínimo de 3 píxeles (2.7"), tal y como vemos en la Figura 3: esta imagen, una ampliación al 600% del original, está centrada alrededor de la variable de tipo RR Lyrae denominada V8 y muestra dos estrellas de campo (L97 y L120) así como cinco variables. Encima de V8, a 4.4", vemos una estrellita de magnitud 14.98 *V* y notamos que los cuadrados de ambas estrellas se solapan levemente, lo que ocurre también para la estrella de campo L120 y cuatro estrellas situadas a la derecha de V50; pese a todo el programa ha presentado resultados totalmente fiables al llegar a obtener posiciones con una precisión de 1/6 de píxel, como luego mostraremos.

Basándonos en los trabajos de Kadla, Cudworth y Monet y Osborn hemos identificado todas las estrellas de campo visibles en nuestras imágenes CCD, doce en total, las cuales hemos marcado en la Figura 4 con sus números Ludendorff y flechas, para una correcta identificación. Si estudiamos la fotografía notaremos que la mayoría de las estrellas son débiles a excepción de L1019, de magnitud 12.65 *V* y L404, de magnitud 12.89 *V* situada muy cerca del núcleo del cúmulo. A excepción de esta estrella el resto aparecen lo suficientemente distantes del mismo como para poder ser medidas con toda comodidad: las tres únicas en las que podría haber habido cierto error, al tener cerca otra estrella, fueron L120, L391 y L1019; el examen de las imágenes a gran aumento y los resultados obtenidos han demostrado que esto no ha ocurrido.

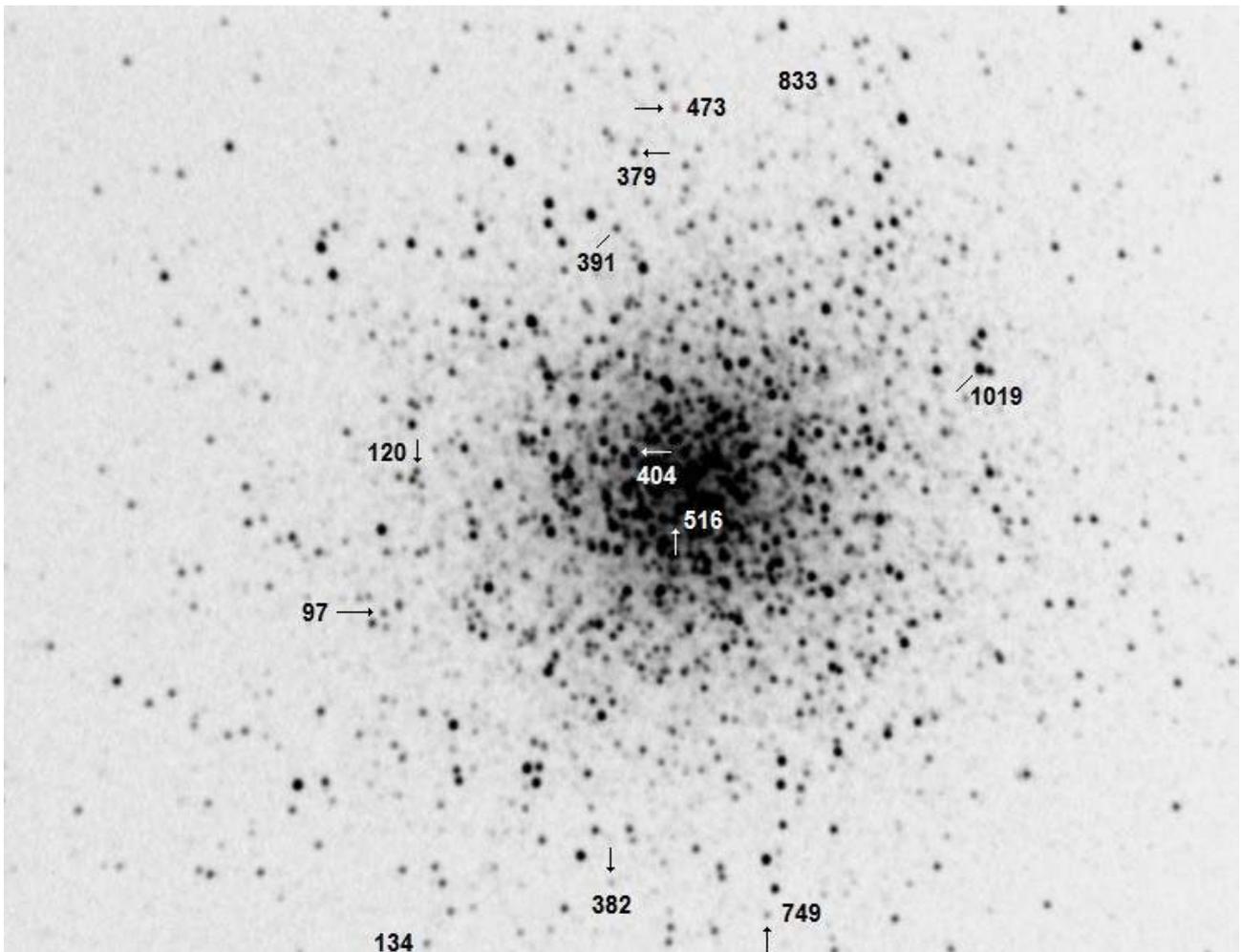


Figura 4. Las doce estrellas de campo no pertenecientes al cúmulo por sus movimientos propios: los números hacen referencia a su orden dentro del Catálogo Ludendorff. Filtro *B* Johnson, resolución: 0.9"/píxel, Norte abajo y Este a la derecha.

Por medio del programa *Astroart* hemos medido las posiciones de 74 estrellas listadas en el trabajo de Osborn visibles en nuestras imágenes: el comparar los datos obtenidos por nosotros con los suyos hemos apreciado que eran prácticamente idénticos salvo diferencias mínimas en muy pocas estrellas, todas ellas astros con movimientos propios. Antes de darlos por buenos y publicarlos decidimos hacer un "test de precisión"⁴ empleando para ello el conocido programa *Astrometrica*; este software comercial es empleado rutinariamente por numerosos aficionados repartidos por todo el mundo para determinar las posiciones astrométricas de asteroides y cometas, resultados que son remitidos al Minor Planet Center para su utilización. De modo que procedimos a hacerlo: por medio del programa *Astroart* determinamos, en primer lugar, el centro de la imagen ya que es un dato requerido por *Astrometrica*; a continuación abrimos el programa y lo configuramos con los datos de nuestro observatorio y equipo: coordenadas del observatorio, altura sobre el nivel del mar, focal empleada (2000 mm), margen de tolerancia para esta focal (10%), orientación de la imagen (es decir el ángulo de posición: 0° si el Norte está arriba), margen de tolerancia para esta orientación (10°), error en el apuntado (5'), tamaño de los píxeles (8.6 x 8.3 micras), saturación (65536 niveles de gris), banda (*R*), tiempo de exposición en segundos, radio de apertura (4 píxeles), límite de detección (4σ), mínima FWHM (0.7 píxeles), constante de placa (ajuste lineal), catálogo

⁴ Es decir, utilizar un software distinto para obtener posiciones astrométricas que luego fuesen comparadas entre ellas: si el resultado era idéntico nuestro método de trabajo y resultados eran correctos, como pudimos comprobar.

estelar utilizado (UCAC-3)⁵ y, como no lo tenemos cargado en el ordenador, que se pudiese conectar al servidor de VizieR⁶ para descargar de allí los datos utilizando 50 estrellas como referencia astrométrica. Tras configurar el programa abrimos la imagen, facilitamos las coordenadas del centro del campo estelar y *Astrometrica* contacta, vía Internet, con VizieR para descargas las estrellas del catálogo elegido: compara, una a una, las estrellas del campo estelar con las del catálogo y realiza una serie de operaciones matemáticas de ajuste entre ambas; finalmente, si no hay errores muy grandes que afecten a la operación, presenta los resultados en formato texto en una especie de "diario" (*log*). En nuestro caso el resultado fue el siguiente:

```

18:48:28 - Start 2013/10/24
Image 1: C:\Escritorio\Cuadrantes\CalibradaB3.fit
Time Stamp: 2013 09 10, 21:42:14 UT
Settings for Scale and Orientation:
Focal Length = 2000.0mm ± 10.0%, Position Angle = 0.0° ± 10.0°, Pointing = ± 5.0' Image flipped: vertically
Settings for CCD: Pixel Width = 8.6µm, Pixel Height = 8.3µm, Saturation = 65535
Settings for Object Detection:
Aperture Radius = 4, Detection Limit = 4.0, Min.FWHM = 0.70, PSF-Fit RMS = 0.20, Search Radius = 0.75
Settings for Reference Star Matching: Number of Stars = 50, Search Radius = 2.0, Magnitude = 10.0 - 19.0
18:48:32 - UCAC-3: 1131 Records read (21.1' x 18.3')
      Center Coordinates: RA = 16h 41m 45.40s, De = +36° 26' 56.0"
18:48:33 - Object List for Image 1: 1470 Detections (761 Stars, 761 Ref. Stars, 0 Movers)
18:48:33 - Astrometry of Image 1: 628 of 761 Reference Stars used: dRA = 0.12", dDe = 0.14"
      X = +4.223357034E-4 -4.416295183E-6*x' -9.488483768E-8*y'
      Y = +1.779071220E-4 -9.810937302E-8*x' +4.262344987E-6*y'
      Origin: x0 = 376.0, y0 = 290.0 Center Coordinates: RA = 16h 41m 38.18s, Dec. = +36° 27' 32.7"
      Focal Length = 1946.8mm, Rotation = -178.73° Pixel Size: 0.91" x 0.88", Field of View: 11.4' x 8.5'
18:48:33 - Photometry of Image 1: 469 of 761 Reference Stars used: dmag = 0.18mag., Zero Point: 26.75mag

```

La explicación es bastante sencilla: se inició el proceso a las 18h 48m 28s del día 24 de octubre de 2013 con la búsqueda de la imagen en la ruta indicada en la segunda línea (concretamente en la carpeta "Cuadrantes", imagen *CalibradaB3.FIT*), encontrando que al leer la cabecera de datos FITS la imagen había sido tomada el día 10 de septiembre de 2013 a las 21h 42m 14s T.U. Se utilizaron las preferencias mostradas en la línea 5 (para el sistema óptico), 6 (para la CCD), 8 y 9 (preferencias y límites de detección de *Astrometrica*). A continuación, en las líneas 10 y 11, se nos informa que el programa ha contactado con UCAC-3 y ha leído 1131 registros (estrellas) en un campo de 21.1' x 18.3' centrado en la posición α : 16h 41m 45.40s y δ : +36° 26' 56.0". En la línea 12 nos dice que ha localizado 1470 astros, de los cuales 761 son estrellas de referencia, existiendo en la zona 0 asteroides conocidos (*movers*), mientras que en la línea 13, tras efectuar un ajuste matemático, indica que habiendo utilizado 628 de las 761 estrellas de referencia encuentra una diferencia media de 0.12" en α y 0.14" en δ entre las posiciones teóricas de las estrellas y las reales. Teniendo en cuenta que el poder resolutivo teórico de un telescopio de 203 mm es igual a $\sim 0.59''$, y que la resolución de la imagen era igual a $\sim 0.9''/\text{píxel}$, resulta que *Astrometrica* ha determinado las posiciones de las estrellas con una precisión de $\sim 1/7$ de píxel o lo

5 UCAC-3 es un catálogo astrométrico que contiene la posición de 100.766.420 estrellas, entre las magnitudes 8 y 16, con errores típicos de 0.020" a 0.015" (para estrellas entre las magnitudes 10 y 14) e inferiores para las brillantes.

6 VizieR es un servicio de 11.674 catálogos astronómicos digitales, en línea, proporcionado por el Centre de Données astronomiques de Strasbourg (CDS).

que es lo mismo, aproximadamente 1/5 del poder resolutivo teórico del telescopio. En las líneas 14 y 15 nos presenta el ajuste matemático realizado, en la 16 las posiciones de origen del mapa bidimensional de píxeles así como el origen de coordenadas (el centro de la imagen) mientras que en la 17 aparece una información muy valiosa: la focal real del sistema óptico (en este caso 1946.8 mm y no 2000 mm como pensábamos), la orientación real o Ángulo de Posición del campo estelar (178.73° y no 180°: el Norte abajo), la resolución por píxel (que podemos redondear a 0.9"/píxel) y el campo capturado en minutos de arco. Finalmente en la última línea muestra la diferencia media de magnitud entre los valores teóricos y los reales de las estrellas. *Astrometrica* almacena la información obtenida para cada estrella en un fichero de texto, línea a línea, parte de cuyo comienzo (sólo las cinco primeras estrellas) mostramos a continuación:

α	$d\alpha$	δ	$d\delta$	R	dR	x	y	Flux	FWHM	Peak	Fit
h m s	"	° ' "	"	mag	mag			ADU	"	SNR	RMS
16 41 11.817	+0.17	+36 26 47.40	+0.05	15.68	(+0.72)	28.06	230.81	26790	3.3	18.2	0.125
16 41 12.192	+0.19	+36 29 05.98	-0.17	14.25	(-0.97)	29.86	388.46	99955	3.0	34.5	0.090
16 41 13.581	-0.11	+36 30 33.28	+0.04	14.27	-0.06	46.23	488.12	97835	2.8	57.4	0.066
16 41 13.885	+0.20	+36 25 02.69	+0.17	14.52	-0.03	57.84	112.35	78090	3.0	43.4	0.079
16 41 14.346	-0.18	+36 27 31.67	+0.07	14.82	-0.22	60.52	281.85	59150	3.0	28.5	0.053

la primera columna muestra la ascensión recta, la segunda las diferencias encontradas entre las posiciones reales y las obtenidas, la tercera la declinación, la cuarta las diferencias en declinación, la quinta la magnitud en banda R , la sexta las diferencias de magnitud, séptima y octava la posición en los ejes X e Y, novena el flujo (en unidades ADU), décima la FWHM, undécima la relación señal/ruido y duodécima las diferencias con el ajuste matemático. Notemos, en primer lugar, que la ascensión recta tiene una precisión de tres decimales y la declinación de dos; las magnitudes de las estrellas están presentadas en banda R de modo que no nos sirven de mucho, las posiciones X y Y pueden servirnos si elaboramos un mapa bidimensional del cúmulo, la FWHM es un indicador del tamaño de las estrellas (turbulencia local) mientras que, finalmente, la relación S/N (SNR) nos permitiría saber cuál es el error fotométrico⁷ si trabajásemos en banda B en vez de la R .

Notemos que las diferencias en α están en el rango 0.11-0.20" (el valor promedio de todas las estrellas es igual a 0.12"), las diferencias en δ están en el rango 0.04-0.17" (el valor promedio es igual a 0.14") y el tamaño de las estrellas (FWHM) ronda los 3": estamos ya en disposición de comenzar a trabajar.

RESULTADOS. ESTRELLAS DEL CÚMULO.

Tras calibrar astrométricamente la misma imagen con los programas *Astroart* y *Astrometrica*, según los procedimientos ya explicados, hemos medido las coordenadas α y δ de setenta y cuatro estrellas estudiadas por Osborn (pertenecientes al cúmulo por su movimiento propio) procediendo a comparar sus posiciones con las nuestras: ello nos ha permitido conocer la precisión obtenida con ambos programa y mostrarla en dos tablas separadas (aunque sólo listaremos treinta de ellas); la primera (Tabla 5) con las Ascensiones Rectas y la segunda (Tabla 6) con las Declinaciones. Presentamos a continuación la Tabla 5 que lista las ascensiones rectas obtenidas por Osborn, con

⁷ El error fotométrico es igual a $1/RSR$: es decir que para un valor $S/N = 100$ el error sería igual a 0.010 magnitudes mientras que para $S/N = 18.2$ (la primera estrella del listado) es igual a 0.055 magnitudes.

Astroart (AA), con *Astrometrica* (AM) y las diferencias entre ellas en el sentido Osborn – *Astroart* (Dif.1) y Osborn – *Astrometrica* (Dif. 2). Dado que sus posiciones tienen sólo dos decimales, y nosotros hemos trabajado con tres, hemos redondeado nuestros resultados; por otro lado como todas las ascensiones rectas presentan los mismos valores en cuanto a horas y minutos (16h 41m) éstos han sido omitidos presentando en todos los casos sólo los segundos de tiempo (s); las estrellas cuyos valores se muestran en letra cursiva se encuentran en zonas de apiñamiento estelar por lo que sus posiciones han aparecido, forzosamente, algo más imprecisas.

TABLA 5. ASCENSIONES RECTAS. COMPARACIÓN (s).

L	Osborn	AA	AM	DIF. 1	DIF. 2	L	Osborn	AA	AM	DIF. 1	DIF. 2
56	21.75	21.73	21.73	0.02	0.02	258	34.48	34.45	34.45	0.03	0.03
117	28.46	28.44	28.45	0.02	0.01	261	34.78	34.76	34.75	0.02	0.03
123	28.88	28.86	28.85	0.02	0.03	268	35.02	34.99	34.99	0.03	0.03
135	29.78	29.78	29.79	0.00	-0.01	277	35.15	35.12	35.12	0.03	0.03
169	31.09	31.06	31.06	0.03	0.03	306	35.92	35.90	35.90	0.02	0.02
176	31.27	21.26	31.25	0.01	0.02	324	36.66	36.64	36.63	0.02	0.03
187	31.58	31.56	31.55	0.02	0.03	327	36.69	36.65	36.65	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>
201	32.50	32.48	32.47	0.02	0.03	353	37.27	37.24	37.24	0.03	0.03
203	32.51	32.49	32.48	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>	414	38.71	38.69	38.68	0.02	0.03
206	32.68	32.65	32.65	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	534	40.60	40.58	40.58	0.02	0.02
222	33.69	33.68	33.67	0.01	0.02	598	41.97	41.96	41.96	0.01	0.01
230	33.90	33.88	33.87	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>	691	43.96	43.93	43.93	0.03	0.03
240	33.94	33.92	33.91	0.02	0.03	719	44.32	44.29	44.29	0.03	0.03
250	34.50	34.49	34.49	0.01	0.01	766	45.30	45.28	45.28	0.02	0.02
252	34.36	34.34	34.34	0.02	0.02	773	45.46	45.44	45.44	0.02	0.02

Si observamos la tabla con atención veremos que las diferencias entre las posiciones obtenidas por Osborn y las nuestras oscilan entre 0.01s y 0.03s excepto en el caso de la estrella L327, situada cerca del núcleo en una zona muy rica en estrellas, en la cual las mediciones son menos precisas debidas al *crowding*. Dado que 1s equivale a 15" estas diferencias oscilan entre 0.15" y 0.45": por debajo del poder resolutivo teórico del telescopio (0.59") y de la resolución del chip (0.90"/píxel). Según estos resultados las posiciones de las estrellas son prácticamente idénticas a las obtenidas por Osborn, dentro de la precisión de nuestro equipo: no se aprecian cambios o discrepancias notorias. Mostremos a continuación los resultados obtenidos para las declinaciones con el mismo formato que en la Tabla 5 pero haciendo una salvedad: si en el caso anterior pudimos representar sólo los segundos de tiempo (ya que las horas y minutos siempre eran las mismas: 16h 41m) en este caso el único valor que no cambia son los grados (+36°) por lo que para cada estrella se muestran los minutos y segundos de arco.

Las distintas columnas de la Tabla 6 muestran los siguientes valores: declinaciones obtenidas por Osborn (minutos y segundos de arco), obtenidas con *Astroart* (AA), con *Astrometrica* (AM) y las diferencias entre ellas en el sentido Osborn – *Astroart* (Dif.1) y Osborn – *Astrometrica* (Dif. 2); como en el caso anterior los valores escritos en letra cursiva corresponden a estrella situadas en zona de apiñamiento estelar y son, por fuerza, menos precisas.

TABLA 6. DECLINACIONES. COMPARACIÓN (").

L	Osborn	AA	AM	DIF. 1	DIF. 2	L	Osborn	AA	AM	DIF. 1	DIF. 2
56	27 56.0	27 55.8	27 55.9	0.2	0.1	258	30 04.8	30 05.0	30 04.8	-0.2	0.0
117	27 33.4	27 33.5	27 33.2	-0.1	0.2	261	27 59.6	27 59.6	27 59.6	0.0	0.0
123	27 36.4	27 36.6	27 36.3	-0.2	0.1	268	25 25.3	25 25.3	25 25.2	0.0	0.1
135	28 07.5	28 07.6	28 07.8	-0.1	-0.3	277	25 39.9	25 40.0	25 39.8	-0.1	0.1
169	25 58.9	25 58.8	25 58.8	0.1	0.1	306	27 48.6	27 48.4	27 48.5	0.2	0.1
176	28 02.3	28 02.2	28 02.3	0.1	0.0	324	26 35.5	26 35.4	26 35.4	0.1	0.1
187	28 44.4	28 44.8	28 44.4	-0.4	0.0	327	27 21.0	27 20.2	27 20.5	0.8	0.5
201	26 20.0	26 20.0	26 19.9	0.0	0.1	353	29 36.8	29 36.8	29 36.8	0.0	0.0
203	27 57.8	27 58.3	27 58.0	-0.5	-0.2	414	25 38.0	25 38.2	25 37.9	-0.2	0.1
206	28 02.2	28 02.0	28 02.0	0.2	0.2	534	31 28.6	31 28.7	31 28.6	-0.1	0.0
222	26 07.9	26 07.9	26 07.7	0.0	0.2	598	26 51.8	26 51.8	26 51.6	0.0	0.2
230	26 13.3	26 14.0	26 12.8	-0.7	-0.5	691	24 41.9	24 41.8	24 41.9	0.1	0.0
240	30 05.7	30 05.7	30 05.7	0.0	0.0	719	29 21.0	29 21.0	29 21.0	0.0	0.0
250	26 36.5	26 36.6	26 36.5	-0.1	0.0	766	31 06.8	31 06.9	31 06.8	-0.1	0.0
252	30 13.3	30 13.2	30 13.3	0.1	0.0	773	30 11.3	30 11.3	30 11.3	0.0	0.0

Observemos la tabla atentamente: notaremos que en general las diferencias oscilan entre 0.0" y 0.3" exceptuando las estrellas L203 (-0.5"), L230 (-0.7") y L327 (0.8"), todas ellas situadas en zonas de apiñamiento estelar. El haber medido la imagen con dos programas distintos y haber obtenido resultados similares (incluyendo las diferencias) nos indica que estos valores son correctos y los resultados precisos, dentro de los límites del equipo empleado.

ESTRELLAS DE CAMPO. MOVIMIENTOS PROPIOS.

De las 104 estrellas tabuladas por Osborn en su trabajo hemos determinado la posición de 70 de ellas, entre las cuales se encontraban ocho estrellas de campo, treinta de las cuales hemos tabulado y presentado en las Tablas 5 y 6; recordemos que las diferencias entre sus coordenadas y las que nosotros hemos determinado con dos programas distintos son muy similares y reducidas: 0.00s a 0.03s en α y 0.0" a 0.3" en δ . Con estos valores tan reducidos, ¿sería factible detectar el movimiento propio de las estrellas de campo? Creemos que, en principio, lo es.

Comparamos las posiciones obtenidas por Osborn (J2000) con las extraídas de imágenes CCD obtenidas en septiembre de 2013: entre ellas hay una diferencia nada despreciable de 13.75 años; dado que las estrellas del cúmulo están muy lejanas es muy difícil que con la resolución teórica de nuestro telescopio ($\sim 0.59''$) y nuestra CCD ($\sim 0.9''/\text{pixel}$) pudiésemos percibir cambios en las mismas en este corto período de tiempo, incluso aunque los programas que hemos empleado permitiesen detectar cambios de sólo 0.01s en α y 0.1" en δ . Ahora bien las estrellas situadas más cercanas no pertenecientes al cúmulo, estrellas de campo, presentarán movimientos propios anuales mayores (quizá no mucho) que las componentes del cúmulo: es posible que en un intervalo de casi 14 años podamos detectar algún pequeño cambio siempre y cuando esté por encima de la resolución mínima del equipo empleado. Vamos a presentar en dos tablas las posiciones obtenidas por nuestros programas, las Ascensiones Rectas en la Tabla 7 y las Declinaciones en la 8; comencemos por las Ascensiones Rectas para ver qué resultados hemos obtenido.

TABLA 7. ESTRELLAS DE CAMPO: ALFA (s).

L	OSBORN	AA	AM	DIF. 1	DIF. 2
97	27.26	27.27	27.27	-0.01	-0.01
134	29.55	29.55	29.55	0.00	0.00
379	38.18	38.17	38.17	0.01	0.01
391	37.47	37.46	37.45	0.01	0.02
404	38.46	38.44	38.44	0.02	0.02
473	39.99	39.98	39.96	0.01	0.03
833	47.08	47.03	47.03	0.05	0.05
1019	54.05	54.06	54.07	-0.01	-0.02

El examen de la tabla parece descorazonador: siete estrellas presentan diferencias iguales a 0.00-0.03s que son similares a las de las estrellas del cúmulo y sólo una (L833) presenta una diferencia igual a 0.05s que pudiera ser debida al movimiento propio. Hagamos lo mismo con las declinaciones en la Tabla 8:

TABLA 8. ESTRELLAS DE CAMPO: DELTA (").

L	OSBORN	AA	AM	DIF. 1	DIF. 2
97	28 44.5	28 44.6	28 44.6	-0.1	-0.1
134	31 40.2	31 40.1	31 39.8	0.1	0.4
379	24 38.3	24 36.6	24 36.6	-1.7	-1.7
391	25 17.3	25 17.3	25 17.2	0.0	0.1
404	27 15.9	27 16.1	27 16.0	-0.2	-0.1
473	24 14.1	24 12.3	24 12.0	1.8	2.1
833	23 57.1	23 56.2	23 56.1	0.9	1.0
1019	26 28.6	26 27.9	26 27.8	0.7	0.8

Si examinamos los valores notamos que cuatro estrellas (L97, L134, L391 y L404) presentan diferencias comprendidas entre 0.1" y 0.4", dos de ellas (L833 y L1019) muestran valores comprendidos entre los 0.7" y 1.0" y finalmente otras dos (L379 y L473) entre los 1.7" y 2.1" que nos parecen muy altos⁸. En los cuatro primeros casos las diferencias son similares a las de las estrellas del cúmulo por lo que no parece que se haya detectado movimiento alguno; en los dos siguientes estos desplazamientos son, al menos, dobles que cualquiera de los anteriores por lo cual creemos que corresponden a movimientos propios; los dos últimos, finalmente, son tan elevados (comparados con los demás) que podrían ser movimientos propios si no fuesen tan grandes. Una última comprobación: de las cuatro estrellas en las cuales parece que hemos detectado movimientos propios en declinación una de ellas (L833) también presenta un movimiento propio en ascensión recta más elevado que los de las demás (son, precisamente, las únicas diferencias que hemos detectado en estas ocho estrellas).

⁸ De ser correctos estas estrellas deberían desplazarse nada menos que $\sim 0.13''/\text{año}$ la primera y $\sim 0.15''/\text{año}$ la segunda, valores excesivamente elevados: sin duda deben de ser erróneos.

Examinando el trabajo de Kadla encontramos cuatro estrellas (no estudiadas por los demás investigadores) con movimientos propios superiores a 10 mas/año que podrían ser estrellas de campo: L120, L382, L516 y L749; en la Tabla 9 listamos los movimientos propios de todas, tal como los determina Kadla, medidos en mas/año (las nuevas estrellas escritas en letra cursiva):

TABLA 9. ESTRELLAS DE CAMPO (KADLA, 1966).

L	$\mu \alpha$	$\mu \delta$	L	$\mu \alpha$	$\mu \delta$
97	15.4	5.3	473	---	---
<i>120</i>	14.0	-7.0	<i>516</i>	-11.6	-4.1
134	-1.6	-4.2	604	10.2	-14.6
379	---	---	<i>749</i>	10.1	-5.5
382	1.1	-42.4	833	-5.0	-22.0
391	---	---	1019	13.6	-19.6

Notemos que la estrella con desplazamiento más reducido es L134: tan pequeño que, en principio, parece una estrella del cúmulo y no de campo (de hecho es realmente miembro del cúmulo para Cudworth y Monet aunque no para Brown); por su parte las cuatro nuevas presuntas estrellas de campo presentan movimientos similares a los de las demás (comparemos L97 con L120 o L516 y L749 con L604) mientras que una (L382) presenta el mayor desplazamiento en declinación. Para saber cuál de las cuatro nuevas estrellas de campo lo es realmente hemos copiado sus coordenadas ecuatoriales, tal y como constan en el Catálogo UCAC4, y las hemos comparado con las que nosotros encontramos con *Astroart* y *Astrometrica*, tabulando estos datos⁹ en una nueva tabla que denominaremos Tabla 10: las diferentes columnas muestran el número Ludendorff, la posición α y δ de UCAC4¹⁰, las de *Astroart* (AA) y las de *Astrometrica* (AM).

TABLA 10. NUEVAS ESTRELLAS DE CAMPO (J2000).

L	α UCAC4	δ UCAC4	α AA	δ AA	α AM	δ AM
120	28.579	27 28.69	28.59	27 29.26	28.61	27 28.69
382	37.845	31 05.54	37.85	31 05.42	37.85	31 05.49
516	40.276	27 51.75	40.36	27 52.07	40.36	27 51.90
749	44.959	31 20.89	44.95	31 20.77	44.96	31 20.90

Determinamos ahora las diferencias en α (medidas en s) y las mostramos en la Tabla 11.

TABLA 11. MOVIMIENTOS PROPIOS: ALFA (s).

L	α UCAC4	α AA	α AM	DIF. 1	DIF. 2
120	28.58	28.59	28.61	-0.01	-0.03
382	37.85	37.85	37.85	0.00	0.00
<i>516</i>	40.28	40.36	40.36	-0.08	-0.08
<i>749</i>	44.96	44.95	44.96	0.01	0.00

⁹ La estrella L516 está dentro del núcleo del cúmulo: esto dificulta bastante la determinación de sus coordenadas.

¹⁰ La posición de la estrella L516 ha sido tomada del Catálogo NOMAD, ya que UCAC4 no la incluye.

Determinamos las diferencias en δ (medidas en ") y las mostramos en la Tabla 11; como en el caso anterior hemos redondeado a dos decimales los valores de UCAC4 y mostramos los nuestros con los dos decimales que nos facilitan *Astroart* y *Astrometrica*:

TABLA 12. MOVIMIENTOS PROPIOS: DELTA (").

L	δ UCAC4	δ AA	δ AM	DIF. 1	DIF. 2
120	27 28.69	27 29.26	27 28.69	-0.57	0.00
382	31 05.54	31 05.42	31 05.49	0.12	0.05
516	27 51.75	27 52.07	27 51.90	-0.32	-0.15
749	31 20.89	31 20.77	31 20.90	0.12	-0.01

Examinando la Tabla 11 comprobamos que sólo dos estrellas (L120 y L516) tienen valores levemente mayores mientras que en la Tabla 12 se aprecian diferencias notables en dos de ellas: L120 y L516, aunque esta última está cerca del núcleo y su posición es menos precisa (por eso, como en ocasiones anteriores, aparece escrita con letra cursiva).

Antes de continuar vamos a comprobar si las posiciones obtenidas por Osborn son similares a las que podemos encontrar en UCAC4 por dos motivos: en primer lugar para comprobar qué diferencias existen entre ellas y en segundo, si las hubiese, si nos aclaran las discrepancias encontradas anteriormente en las estrellas L379, L391, L473 y L833 (Tablas 7 y 8), lo que hacemos en la Tabla 13 redondeando previamente a dos decimales los valores de UCAC4.

TABLA 13. POSICIONES OSBORN Y SIMBAD. DIFERENCIAS.

L	α OSBORN	α UCAC4	δ OSBORN	δ UCAC4	DIF. 1	DIF. 2
97	27.26	27.25	28 44.5	28 44.5	0.01	0.0
134	29.55	29.54	31 40.2	31 40.1	0.01	0.1
379	38.18	38.17	24 38.8	24 37.0	0.01	1.8
391	37.47	38.21	25 17.3	25 25.4	-0.74	-8.1
404	38.46	38.45	27 15.9	27 15.8	0.01	0.1
473	39.99	39.98	24 14.1	24 12.8	0.01	1.3
833	47.08	47.04	23 57.1	23 56.4	0.04	0.7
1019	54.05	54.05	26 28.6	26 28.0	0.00	0.6

Las diferencias obtenidas afectan únicamente a las estrellas L391 y L833 en α pero prácticamente a todas menos tres (L97, L134 y L404) en δ . Dado que los datos de Osborn presentan bastantes discrepancias con UCAC4 no sería correcto comparar nuestras posiciones con las suyas, dándolos por buenas: para comprobar si hemos detectado movimientos propios en estas estrellas de campo (es decir, diferencias en α y δ) vamos a proceder a comparar las posiciones (expresadas en segundos de tiempo para α , minutos y segundos de arco en δ) que hemos determinado con *Astroart* (por ser, a nuestro juicio, más precisas) directamente con las del Catálogo UCAC4, lo que hacemos y tabulamos en la Tabla 14¹¹:

11 Como hemos obtenido valores con tres y dos decimales los podemos comparar directamente sin redondeos.

TABLA 14. POSICIONES UCAC4 Y VIOLAT. DIFERENCIAS.

L	α UCAC4	α AA	δ UCAC4	δ AA	DIF. 1	DIF. 2
97	27.253	27.273	28 44.54	28 44.58	-0.020	-0.04
120	28.579	28.589	27 28.69	27 29.26	-0.010	-0.57
134	29.535	29.546	31 40.12	31 40.14	-0.011	-0.02
379	38.166	38.173	24 37.00	24 36.60	-0.007	0.40
382	37.845	37.852	31 05.54	31 05.42	-0.007	0.12
391	38.206	38.215	25 25.40	25 25.79	-0.009	-0.39
404	38.451	38.440	27 15.77	27 16.08	0.110	-0.31
473	39.977	39.979	24 12.79	24 12.29	-0.002	0.50
516	40.276	40.363	27 51.75	27 52.07	-0.087	-0.32
749	44.959	44.948	31 20.89	31 20.77	0.011	0.12
833	47.037	47.033	23 56.39	23 56.17	0.004	0.22
1019	54.054	54.063	26 27.96	26 27.93	-0.009	0.03

El examen de la tabla muestra que nuestras diferencias en α son prácticamente inexistentes excepto para L404 y L516, cuyos valores hemos escrito en letra cursiva, localizadas cerca del núcleo del cúmulo y por ello muy afectada por el *crowding*. En δ sí se aprecian cinco valores llamativos (dejando aparte los de L404 y L516 por el motivo ya explicado): los de las estrellas L120, L379, L391, L473 y L833 que son iguales o mayores de 0.22"; el resto presenta diferencias inferiores a 0.12" y son, por tanto, similares a lo que consideramos *error típico* (0.0"-0.2", Tabla 6). A la vista de estos datos vamos a construir una nueva tabla (Tabla 15) que muestre la probabilidad de ser estrella de campo en base a estas diferencias encontradas por nosotros en α y δ .

TABLA 15. ESTRELLAS DE CAMPO: PROBABILIDADES.

L	DIF α	DIF δ	L	DIF α	DIF δ
97	DUDOSA	NO	404	DUDOSA	POSIBLE
120	NO	SI	473	NO	SI
134	NO	NO	516	DUDOSA	POSIBLE
379	NO	SI	749	NO	NO
382	NO	DUDOSA	833	NO	DUDOSA
391	NO	SI	1019	NO	NO

Con estos datos identificamos sólo tres estrellas dudosas por sus diferencias en α (L97, L120 y L516), aunque la dos últimas están en una zona de apiñamiento estelar: no parece que hayamos tenido ningún éxito. Sin embargo al utilizar las diferencias en δ notamos que aparecen hasta cuatro estrellas de campo seguras (L120, L379, L391 y L473), dos posibles (L404 y L516), dos dudosas (L382 y L833) y el resto no lo parecen¹² porque sus diferencias son iguales al error típico.

¹² Esto no descarta que sean estrellas de campo: simplemente indica que sus movimientos en 13.75 años son tan reducidos que creemos que no detectamos nada cuando, en realidad, pueden ser del mismo orden que el error cometido al medir, de 0.01s a 0.02s en α y de 0.1" a 0.2" en δ (Tabla 14).

Dado que astronómicamente tenemos la igualdad $1s = 15''$ vamos a determinar cuáles han sido los desplazamientos (medidos en segundos de arco) de las doce estrellas de la tabla anterior, lo que calculamos y tabulamos en la Tabla 16.

TABLA 16. DESPLAZAMIENTOS MEDIDOS (").

L	$\mu \alpha$ (")	$\mu \delta$ (")	L	$\mu \alpha$ (")	$\mu \delta$ (")
97	-0.30	-0.04	404	1.65	-0.31
120	-0.15	-0.57	473	-0.03	0.50
134	-0.16	-0.02	516	-1.30	-0.32
379	-0.10	0.40	749	0.16	0.12
382	-0.10	0.12	833	0.06	0.22
391	-0.13	-0.39	1019	-0.13	0.03

Ahora, al tener los desplazamientos en ambas coordenadas en la misma unidad de medida (el segundo de arco), podemos compararlos para cada estrella. También podemos calcular, de paso, cuál es el movimiento propio anual de cada estrella al año dividiendo estos valores entre 13.75 años, lo que hacemos y presentamos en la Tabla 17:

TABLA 17. MOVIMIENTOS PROPIOS ANUALES (").

L	$\mu \alpha$ (")	$\mu \delta$ (")	L	$\mu \alpha$ (")	$\mu \delta$ (")
97	-0.02182	-0.00291	404	0.12692	-0.02255
120	-0.01091	-0.04145	473	-0.00218	0.03636
134	-0.01163	-0.00145	516	-0.09454	-0.02327
379	-0.00727	0.02909	749	0.01164	0.00873
382	-0.00727	0.00872	833	0.00436	0.01600
391	-0.00945	-0.02836	1019	-0.00945	0.00218

Podemos comprobar que, según nuestras mediciones, estos movimientos propios anuales son muy reducidos: del orden de las centésimas de segundo de arco/año o incluso menores (por ejemplo los 1.45 mas/año de L134). Comparemos estos valores con el poder resolutivo teórico del telescopio (0.59") o el del chip (0.9"/píxel). ¿Cómo podríamos determinar con mayor precisión los movimientos propios de estas estrellas de campo con nuestro equipo?: se nos ocurren al menos dos posibilidades distintas, a saber

a) ampliar la focal del telescopio: en vez de trabajar a $f/10$ tomar imágenes a $f/20$ empleando para ello un duplicador de focal, y

b) alargar la base observacional: capturar imágenes en los años 2014, 2015, etc. para que los desplazamientos medidos aumenten y superen el error típico de nuestras mediciones.

En la campaña del año 2014 probaremos ambos métodos con el mismo equipo (telescopio, filtros y CCD): el primero de ellos está limitado por la turbulencia local y la finura del sistema

óptico (seguimiento, filtros, enfoque, aberraciones ópticas, limitaciones físicas del chip, etc.), y puede no resultar ser favorable para nuestros propósitos, pero el segundo no se ve afectado de ninguna manera por la turbulencia local, las aberraciones ópticas, el seguimiento o las limitaciones físicas del equipo.

Comparemos los movimientos propios obtenidos por Kadla y Cudworth-Monet (medidos en mas/año) con los determinados por nosotros, convirtiendo previamente los segundos de arco/año a mas/año multiplicando por 1000, lo que hacemos en la Tabla 18, en donde los subíndices 1 y 2 representan los valores profesionales y los nuestros respectivamente (los tabulados en letra cursiva son, nuevamente, los de las dos estrellas situadas cerca del núcleo):

TABLA 18. COMPARATIVA MOVIMIENTOS PROPIOS (MAS/AÑO).

L	$\mu_1 \alpha$	$\mu_1 \delta$	$\mu_2 \alpha$	$\mu_2 \delta$
97	8.11	4.81	-21.82	-2.91
120	14.0	-7.0	-10.91	-41.45
134	0.81	0.25	-11.63	-1.45
379	3.48	-35.17	-7.27	29.09
382	1.1	-42.4	-7.27	8.72
391	0.81	-1.03	-9.45	-28.36
404	0.74	0.36	<i>126.92</i>	-22.55
473	4.16	-35.80	-2.18	36.36
516	-11.6	-4.1	<i>-94.54</i>	-23.27
749	10.1	-5.5	11.64	8.73
833	-5.0	-22.0	4.36	16.00
1019	9.66	-17.33	-9.45	2.18

Al examinar los datos notamos que nuestros resultados difieren de los profesionales: los únicos que se parecen a los reales son los de la declinación de L379, L473 y L833 aunque en dirección opuesta a los verdaderos. Esto no debe sorprendernos si tenemos en cuenta que estamos intentando medir desplazamientos de unas pocas decenas de milisegundos de arco con un telescopio cuyo poder resolutivo teórico es de $\sim 0.59''$ (~ 590 milisegundos de arco) y con un chip cuya escala es de $\sim 0.90''/\text{píxel}$ (~ 900 milisegundos de arco): todos estos desplazamientos anuales están, como mínimo, veinte veces por debajo de los límites de nuestro equipo¹³. En la campaña de 2014 emplearemos una nueva estrategia: utilizar el duplicador de focal con la idea de aumentar la resolución del equipo bajando la escala del chip a $\sim 0.45''/\text{píxel}$ con lo cual estaremos limitados por la turbulencia local (*seeing*).

¹³ Podríamos detectar un desplazamiento de $0.90''$ en una estrella de campo de este sector siempre y cuando se desplazase a una velocidad de 65.45 mas/año, valor resultante de la operación siguiente: $0.90''/13.75$ años.

RESUMEN

Hemos determinado las coordenadas ecuatoriales J2000 de 70 estrellas pertenecientes al cúmulo globular Messier 13 (NGC 6205), a partir de diez imágenes CCD filtradas (en banda *B* Johnson), por medio de los programas comerciales *Astroart* y *Astrométrica*; al compararlas con las tabuladas por Osborn en el año 2000 encontramos diferencias típicas de hasta 0.03s en α y 0.3" en δ : esto nos indica, por una parte, que los movimientos propios anuales son muy reducidos (por debajo de los 0.2"/año) y que las diferencias encontradas se deben al error cometido al medir con nuestra resolución óptica teórica ($\sim 0.59''$) y la escala del chip ($\sim 0.90''/\text{píxel}$). En el campo cubierto por la CCD (11.4' x 8.5') se encontraban doce estrellas de campo cuyas coordenadas ecuatoriales hemos determinado muy cuidadosamente: al compararlas con las tabuladas en SIMBAD (Catálogo UCAC4) encontramos pequeños cambios en siete de ellas que parecen compatibles con movimientos propios; se han determinado los mismos encontrándolos en el rango 1.45 a 41.45 mas/año: al compararlos con los profesionales comprobamos que sólo los tres mayores son similares siendo, la mayoría de ellos, distintos, lo que nos indica que hemos detectado sólo los mayores pero que no podemos cuantificarlos con precisión al ser muy reducidos. En campañas futuras debemos trabajar con una focal más amplia, o utilizar una base temporal mayor (catorce, quince, dieciséis años...), para que el desplazamiento sea perceptible por encima de la resolución de nuestro equipo: esto puede comprobarse, por ejemplo, en la Figura 5 en la que se aprecia el leve desplazamiento de L1019 en dirección Sur en un intervalo de casi 115 años.

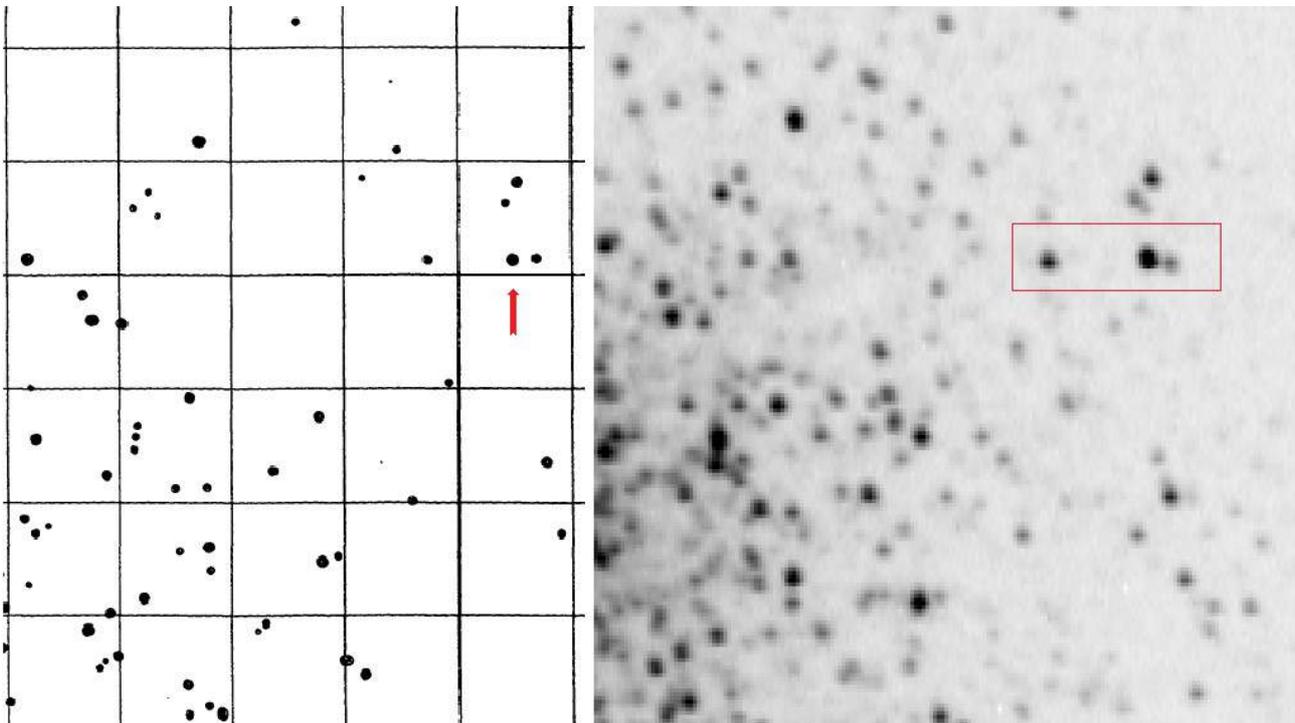


Figura 5. Desplazamiento en dirección Sur de la estrella de campo L1019: a la izquierda posición publicada en el trabajo de Barnard (1931) con mediciones astrométricas del año 1898, a la derecha la que presentaba en septiembre de 2013 en nuestra imagen CCD; puede apreciarse un leve cambio en la posición en los casi 115 años transcurridos. Norte abajo, Este a la derecha.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido realizado utilizando los catálogos y bancos de datos de VizieR y SIMBAD (Centro de Datos Estelares CDS, Strasbourg, France), Aladin Sky Atlas, NASA's Astrophysics Data System así como el telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura del Observatorio Astronómico de Cáceres, la cámara CCD y su rueda de filtros fotométricos (BVR_{cIc}).

REFERENCIAS

- Aladin Sky Atlas: <http://aladin.u-strasbg.fr/java/nph-aladin.pl>
Barnard, E. E. (1931). *Publications of the Yerkes Observatory*, vol. 6, pp.1-106
Brown, A. (1955), *ApJ*, 122, 146
Cudworth, K. M., Monet, D. G. (1979), *AJ*, 84, 774
Kadla, Z. I. (1964), *Soviet Astronomy*, 7, 528
Kadla, Z. I. (1968), *Izv. Glav. Astron. Obs.*, 24, part 5, 93 (1966)
Kopacki, G. *et al.* (2005), *Acta Astronomica*, vol. 55, 85
Luddendorf, H. (1905), *Publ. Astrophys. Obs. Potsdam*, 15, N° 50
Osborn, W. (2000), *AJ*, 119, 2902
SIMBAD Astronomical Database: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
Van Maanen, A. (1925), *Contributions from the Mount Wilson Observatory*, 284, 1
Van Maanen, A. (1927), *ApJ*, 66, 89
VizieR Catalogue Service: <http://vizier.u-strasbg.fr/>
Zacharias, N. *et al.* (2013), *AJ*, 145, 44